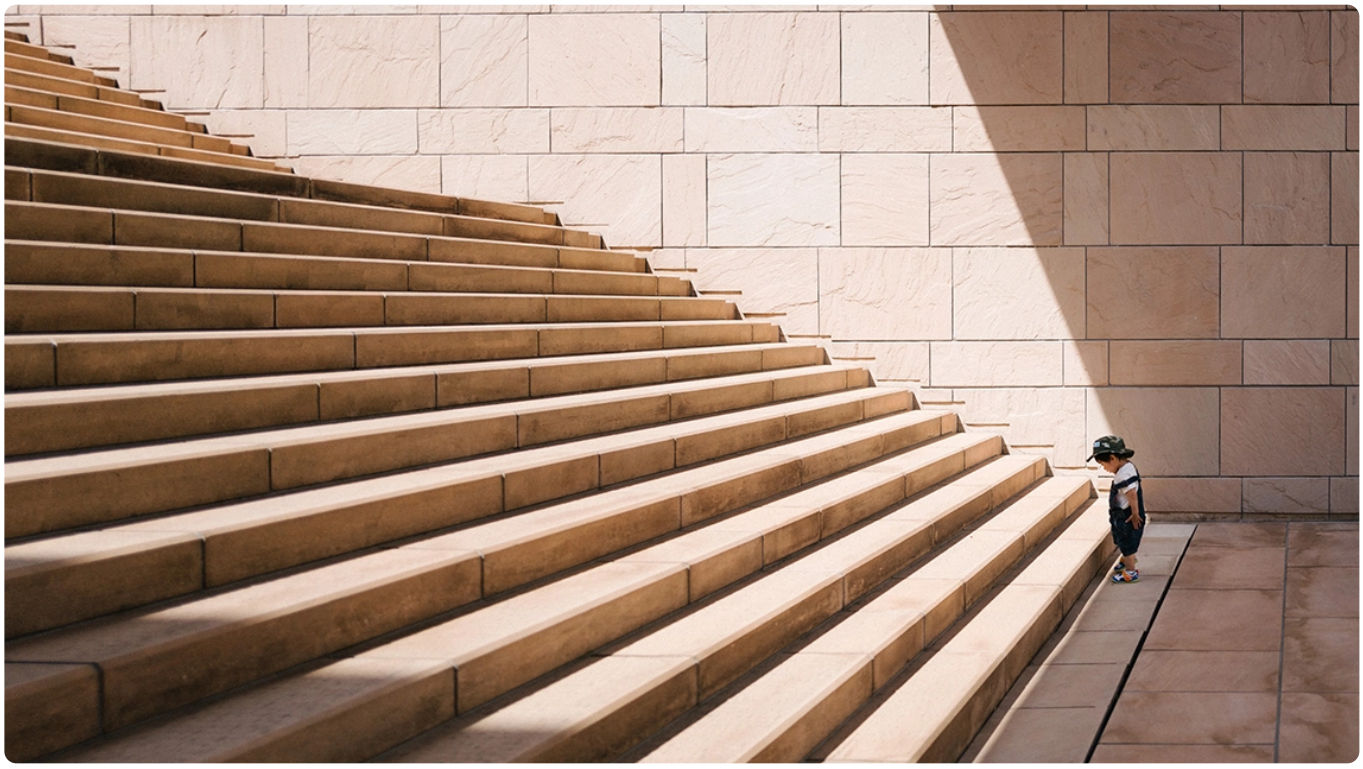
07｜所有权：值的生杀大权到底在谁手上？

2021-09-06 陈天

《陈天 · Rust 编程第一课》 课程介绍 >



讲述：陈天
时长 13:48　大小 12.65M

你好，我是陈天。

完成了上周的“get hands dirty”挑战，相信你对 Rust 的魅力已经有了感性的认知，是不是开始信心爆棚地尝试写小项目了。

但当你写的代码变多，编译器似乎开始和自己作对了，一些感觉没有问题的代码，编译器却总是莫名其妙报错。

那么从今天起我们重归理性，一起来研究 Rust 学习过程中最难啃的硬骨头：所有权和生命周期。为什么要从这个知识点开始呢？因为，**所有权和生命周期是 Rust 和其它编程语言的主要区别，也是 Rust 其它知识点的基础。**

很多 Rust 初学者在这个地方没弄明白，一知半解地继续学习，结果越学越吃力，最后在实际上手写代码的时候就容易栽跟头，编译总是报错，丧失了对 Rust 的信心。

其实所有权和生命周期之所以这么难学明白，除了其与众不同的解决内存安全问题的角度外，另一个很大的原因是，目前的资料对初学者都不友好，上来就讲 Copy / Move 语义怎么用，而没有讲明白**为什么要这样用**。

所以这一讲我们换个思路，从一个变量使用堆栈的行为开始，探究 Rust 设计所有权和生命周期的用意，帮你从根上解决这些编译问题。

变量在函数调用时发生了什么

首先，我们来看一看，在我们熟悉的大多数编程语言中，变量在函数调用时究竟会发生什么、存在什么问题。

看这段代码，main() 函数中定义了一个动态数组 data 和一个值 v，然后将其传递给函数 find_pos，在 data 中查找 v 是否存在，存在则返回 v 在 data 中的下标，不存在返回 None（ 代码 1 ）：

复制代码

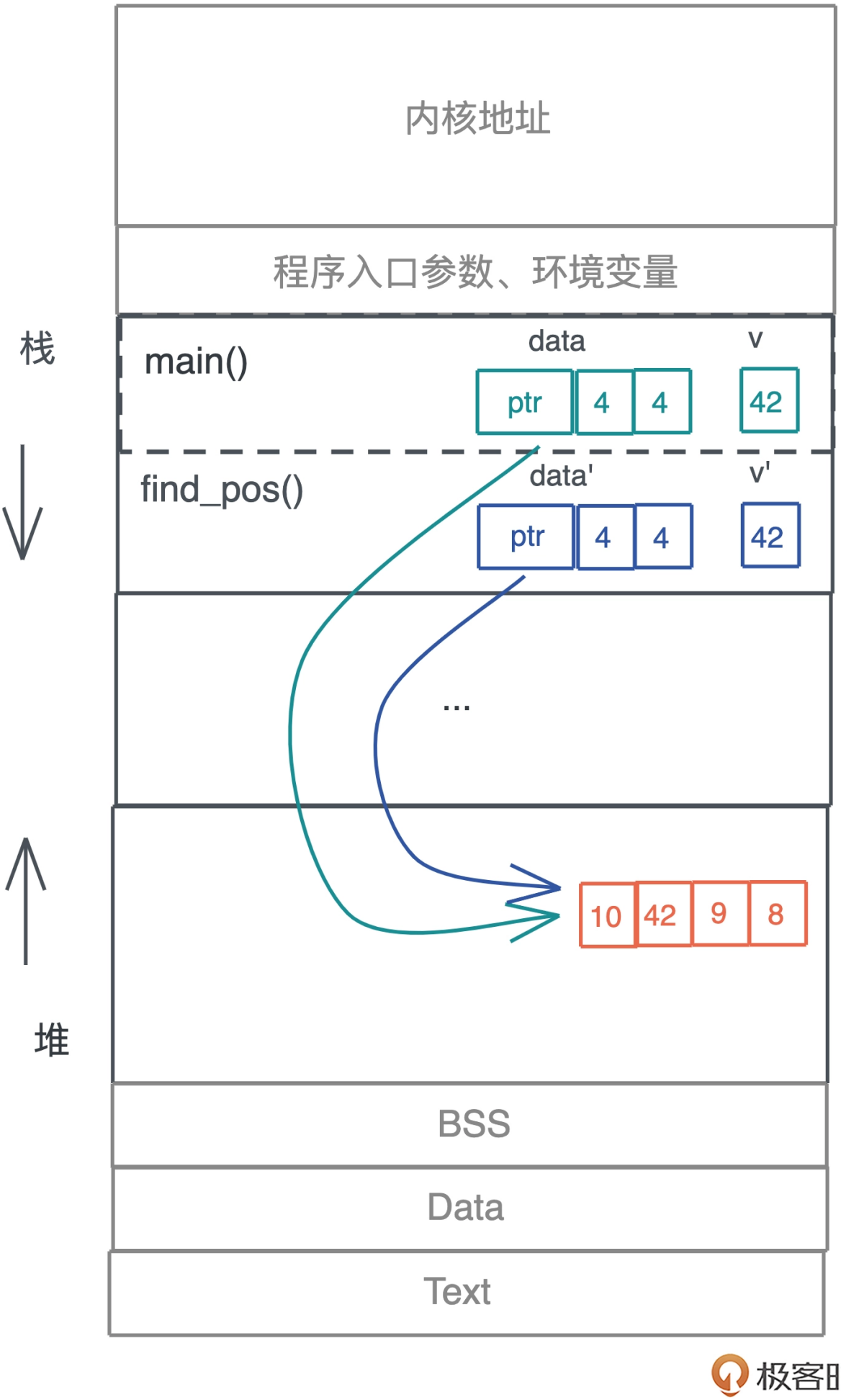
```
fn main() {
    let data = vec![10, 42, 9, 8];
    let v = 42;
    if let Some(pos) = find_pos(data, v) {
        println!("Found {} at {}", v, pos);
    }
}

fn find_pos(data: Vec<u32>, v: u32) -> Option<usize> {
    for (pos, item) in data.iter().enumerate() {
        if *item == v {
            return Some(pos);
        }
    }

    None
}
```

这段代码不难理解，要再强调一下的是，**动态数组因为大小在编译期无法确定，所以放在堆上，并且在栈上有一个包含了长度和容量的胖指针指向堆上的内存。**

在调用 find_pos() 时，main() 函数中的局部变量 data 和 v 作为参数传递给了 find_pos()，所以它们会被放在 find_pos() 的参数区。


内核地址
程序入口参数、环境变量
栈
main()
data
v
ptr
4
4
42
find_pos()
data'
v'
ptr
4
4
42
...
10
42
9
8
堆
BSS
Data
Text

按照大多数编程语言的做法，现在堆上的内存就有了两个引用。不光如此，我们每把 data 作为参数传递一次，堆上的内存就会多一次引用。

但是，这些引用究竟会做什么操作，我们不得而知，也无从限制；而且堆上的内存究竟什么时候能释放，尤其在多个调用栈引用时，很难厘清，取决于最后一个引用什么时候结束。所以，这样一个看似简单的函数调用，给内存管理带来了极大麻烦。

对于堆内存多次引用的问题，我们先来看大多数语言的方案：

C/C++ 要求开发者手工处理，非常不便。这需要我们在写代码时高度自律，按照前人总结的最佳实践来操作。但人必然会犯错，一个不慎就会导致内存安全问题，要么内存泄露，要么使用已释放内存，导致程序崩溃。

Java 等语言使用追踪式 GC，通过定期扫描堆上数据还有没有人引用，来替开发者管理堆内存，不失为一种解决之道，但 GC 带来的 STW 问题让语言的使用场景受限，性能损耗也不小。

ObjC/Swift 使用自动引用计数（ARC），在编译时自动添加维护引用计数的代码，减轻开发者维护堆内存的负担。但同样地，它也会有不小的运行时性能损耗。

现存方案都是从管理引用的角度思考的，有各自的弊端。我们回顾刚才梳理的函数调用过程，从源头上看，本质问题是堆上内存会被随意引用，那么换个角度，我们是不是可以限制引用行为本身呢？

Rust 的解决思路

这个想法打开了新的大门，Rust 就是这样另辟蹊径的。

在 Rust 以前，引用是一种随意的、可以隐式产生的、对权限没有界定的行为，比如 C 里到处乱飞的指针、Java 中随处可见的按引用传参，它们可读可写，权限极大。而 Rust 决定限制开发者随意引用的行为。

其实作为开发者，我们在工作中常常能体会到：**恰到好处的限制，反而会释放无穷的创意和生产力**。最典型的就是各种开发框架，比如 React、Ruby on Rails 等，他们限制了开发者使用语言的行为，却极大地提升了生产力。

好，思路我们已经有了，具体怎么实现来限制数据的引用行为呢？

要回答这个问题，我们需要先来回答：谁真正拥有数据或者说值的生杀大权，这种权利可以共享还是需要独占？

所有权和 Move 语义

照旧我们先尝试回答一下，对于值的生杀大权可以共享还是需要独占这一问题，我们大概都会觉得，一个值最好只有一个拥有者，因为所有权共享，势必会带来使用和释放上的不明确，走回 追踪式 GC 或者 ARC 的老路。

那么如何保证独占呢？具体实现其实是有些困难的，因为太多情况需要考虑。比如说一个变量被赋给另一个变量、作为参数传给另一个函数，或者作为返回值从函数返回，都可能造成这个变量的拥有者不唯一。怎么办？

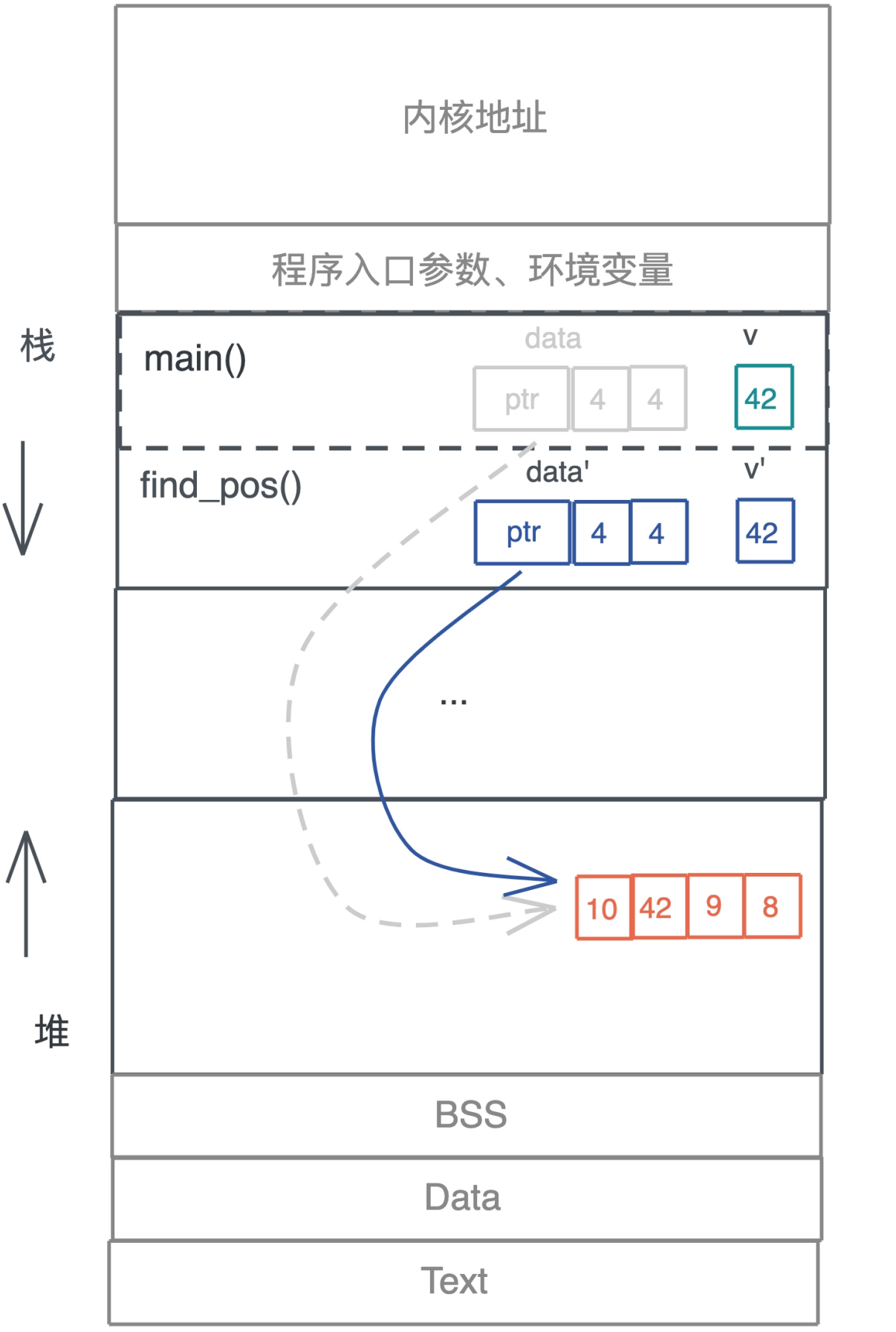
对此，Rust 给出了如下规则：

> **一个值只能被一个变量所拥有**，这个变量被称为**所有者**（Each value in Rust has a variable that’ s called its *owner*）。
>
> **一个值同一时刻只能有一个所有者**（There can only be one owner at a time），也就是说不能有两个变量拥有相同的值。所以对应刚才说的变量赋值、参数传递、函数返回等行为，旧的所有者会把值的所有权转移给新的所有者，以便保证单一所有者的约束。
>
> **当所有者离开作用域，其拥有的值被丢弃**（When the owner goes out of scope, the value will be dropped），内存得到释放。

这三条规则很好理解，核心就是保证单一所有权。其中第二条规则讲的所有权转移是 Move 语义，Rust 从 C++ 那里学习和借鉴了这个概念。

第三条规则中的作用域（scope）是一个新概念，我简单说明一下，它指一个代码块（block），在 Rust 中，一对花括号括起来的代码区就是一个作用域。举个例子，如果一个变量被定义在 if {} 内，那么 if 语句结束，这个变量的作用域就结束了，其值会被丢弃；同样的，函数里定义的变量，在离开函数时会被丢弃。

在这三条所有权规则的约束下，我们看开头的引用问题是如何解决的：


内核地址
程序入口参数、环境变量
栈
main()
data
v
ptr
4
4
42
find_pos()
data'
v'
ptr
4
4
42
...
堆
10
42
9
8
BSS
Data
Text
极客时间

原先 main() 函数中的 data，被移动到 find_pos() 后，就失效了，编译器会保证 main() 函数随后的代码无法访问这个变量，这样，就确保了堆上的内存依旧只有唯一的引用。

看这个图，你可能会有一个小小的疑问：main() 函数传递给 find_pos() 函数的另一个参数 v，也会被移动吧？为什么图上并没有标灰？咱们暂且将这个疑问放到一边，等这一讲学完，相信你会有答案的。

现在，我们来写段代码加深一下对所有权的理解。

在这段代码里，先创建了一个不可变数据 data，然后将 data 赋值给 data1。按照所有权的规则，赋值之后，data 指向的值被移动给了 data1，它自己便不可访问了。而随后，data1 作为参数被传给函数 sum()，在 main() 函数下，data1 也不可访问了。

但是后续的代码依旧试图访问 data1 和 data，所以，这段代码应该会有两处错误（代码 2）：

复制代码

```
fn main() {
    let data = vec![1, 2, 3, 4];
    let data1 = data;
    println!("sum of data1: {}", sum(data1));
    println!("data1: {:?}", data1); // error1
    println!("sum of data: {}", sum(data)); // error2
}

fn sum(data: Vec<u32>) -> u32 {
    data.iter().fold(0, |acc, x| acc + x)
}
```

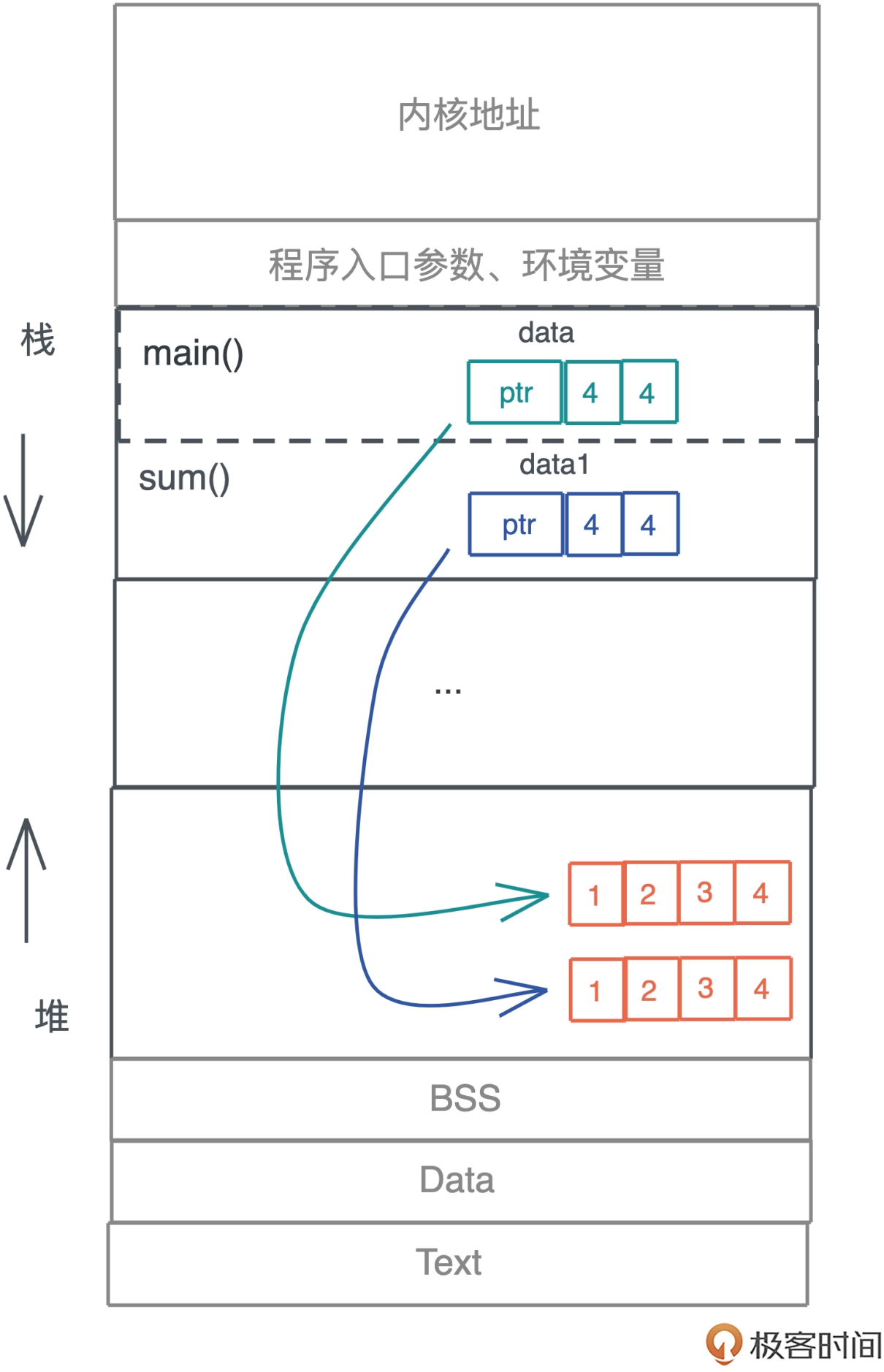
运行时，编译器也确实捕获到了这两个错误，并清楚地告诉我们不能使用已经移动过的变量：

```
❯ cargo run --bin ownership_error
   Compiling ownership v0.1.0 (/Users/tchen/projects/mycode/rust/geek-time-rust-resources/04/ownership)
error[E0382]: borrow of moved value: `data1`
 --> src/ownership_error.rs:5:29
  |
3 |     let data1 = data;
  |         ----- move occurs because `data1` has type `Vec<u32>`, which does not implement the `Copy` trait
4 |     println!("sum of data1: {}", sum(data1));
  |                                      ----- value moved here
5 |     println!("data1: {:?}", data1);
  |                             ^^^^^ value borrowed here after move

error[E0382]: use of moved value: `data`
 --> src/ownership_error.rs:6:37
  |
2 |     let data = vec![1, 2, 3, 4];
  |         ---- move occurs because `data` has type `Vec<u32>`, which does not implement the `Copy` trait
3 |     let data1 = data;
  |                 ---- value moved here
...
6 |     println!("sum of data: {}", sum(data));
  |                                     ^^^^ value used here after move
```

如果我们要在把 data1 传给 sum()，同时，还想让 main() 能够访问 data，该怎么办？

我们可以调用 `data.clone()` 把 data 复制一份出来给 data1，这样，在堆上就有 `vec![1,2,3,4]` 两个互不影响且可以独立释放的副本，如下图所示：


内核地址
程序入口参数、环境变量
栈
main()
data
ptr
4
4
sum()
data1
ptr
4
4
...
堆
1
2
3
4
1
2
3
4
BSS
Data
Text
极客时间

可以看到，**所有权规则，解决了谁真正拥有数据的生杀大权问题，让堆上数据的多重引用不复存在，这是它最大的优势**。

但是，这也会让代码变复杂，尤其是一些只存储在栈上的简单数据，如果要避免所有权转移之后不能访问的情况，我们就需要手动复制，会非常麻烦，效率也不高。

Rust 考虑到了这一点，提供了两种方案：

1. 如果你不希望值的所有权被转移，在 Move 语义外，Rust 提供了 **Copy 语义**。如果一个数据结构实现了 Copy trait，那么它就会使用 Copy 语义。这样，在你赋值或者传参时，值会自动按位拷贝（浅拷贝）。
2. 如果你不希望值的所有权被转移，又无法使用 Copy 语义，那你可以**“借用”数据**，我们下一讲会详细讨论“借用”。

我们先看今天要讲的第一种方案：Copy 语义。

Copy 语义和 Copy trait

符合 Copy 语义的类型，**在你赋值或者传参时，值会自动按位拷贝**。这句话不难理解，那在 Rust 中是具体怎么实现的呢？

我们再仔细看看刚才代码编译器给出的错误，你会发现，它抱怨 data 的类型 `Vec<u32>`没有实现 Copy trait，在赋值或者函数调用的时候无法 Copy，于是就按默认使用 Move 语义。而 Move 之后，原先的变量 data 无法访问，所以出错。

```
error[E0382]: use of moved value: `data`
 --> src/ownership_error.rs:6:37
  |
2 |     let data = vec![1, 2, 3, 4];
  |         ---- move occurs because `data` has type `Vec<u32>`, which does not implement the `Copy` trait
3 |     let data1 = data;
  |                 ---- value moved here
...
6 |     println!("sum of data: {}", sum(data));
  |                                 ^^^^ value used here after move
```

换句话说，当你要移动一个值，如果值的类型实现了 Copy trait，就会自动使用 Copy 语义进行拷贝，否则使用 Move 语义进行移动。

讲到这里，我插一句，在学习 Rust 的时候，你可以根据编译器详细的错误说明来尝试修改代码，使编译通过，在这个过程中，你可以用 Stack Overflow 搜索错误信息，进一步学习自己不了解的知识点。我也非常建议你根据上图中的错误代码 E0382 使用 `rustc --explain E0382` 探索更详细的信息。

好，回归正文，那在 Rust 中，什么数据结构实现了 Copy trait 呢？ 你可以通过下面的代码快速验证一个数据结构是否实现了 Copy trait（ 验证代码 ）：

复制代码

```
fn is_copy<T: Copy>() {}

fn types_impl_copy_trait() {
    is_copy::<bool>();
    is_copy::<char>();

    // all iXX and uXX, usize/isize, fXX implement Copy trait
    is_copy::<i8>();
    is_copy::<u64>();
    is_copy::<i64>();
    is_copy::<usize>();

    // function (actually a pointer) is Copy
    is_copy::<fn()>();

    // raw pointer is Copy
    is_copy::<*const String>();
    is_copy::<*mut String>();

    // immutable reference is Copy
    is_copy::<&[Vec<u8>]>();
    is_copy::<&String>();

    // array/tuple with values which is Copy is Copy
    is_copy::<[u8; 4]>();
    is_copy::<(&str, &str)>();
}

fn types_not_impl_copy_trait() {
    // unsized or dynamic sized type is not Copy
    is_copy::<str>();
    is_copy::<[u8]>();
    is_copy::<Vec<u8>>();
    is_copy::<String>();

    // mutable reference is not Copy
    is_copy::<&mut String>();

```

```
    // array / tuple with values that not Copy is not Copy
    is_copy::<[Vec<u8>; 4]>();
    is_copy::<(String, u32)>();
}

fn main() {
    types_impl_copy_trait();
    types_not_impl_copy_trait();
}
```

推荐你动手运行这段代码，并仔细阅读编译器错误，加深印象。我也总结一下：

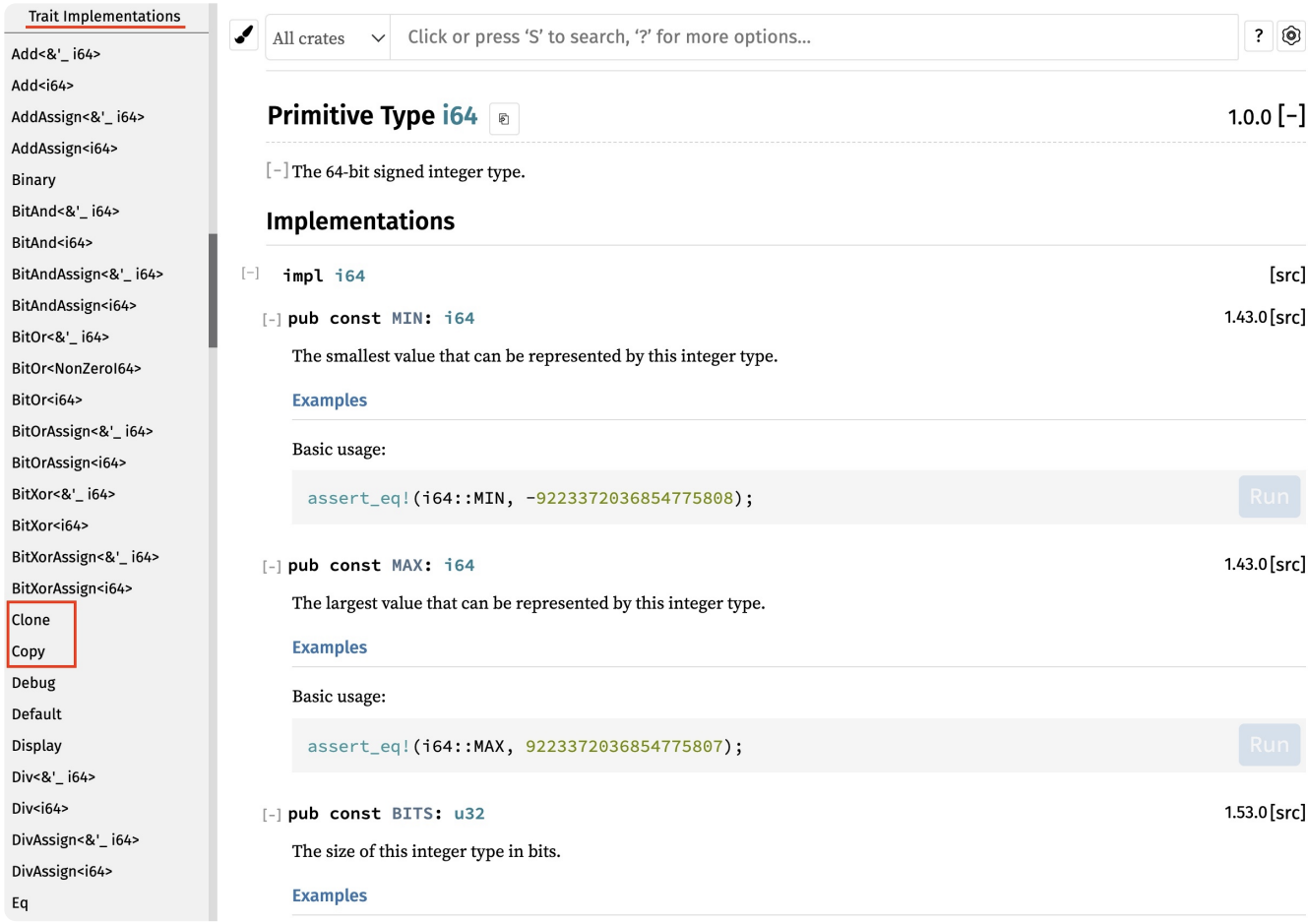
原生类型，包括函数、不可变引用和裸指针实现了 Copy；

数组和元组，如果其内部的数据结构实现了 Copy，那么它们也实现了 Copy；

可变引用没有实现 Copy；

非固定大小的数据结构，没有实现 Copy。

另外，官方文档介绍 Copy trait 的页面包含了 Rust 标准库中实现 Copy trait 的所有数据结构。你也可以在访问某个数据结构的时候，查看其文档的 Trait implementation 部分，看看它是否实现了 Copy trait。



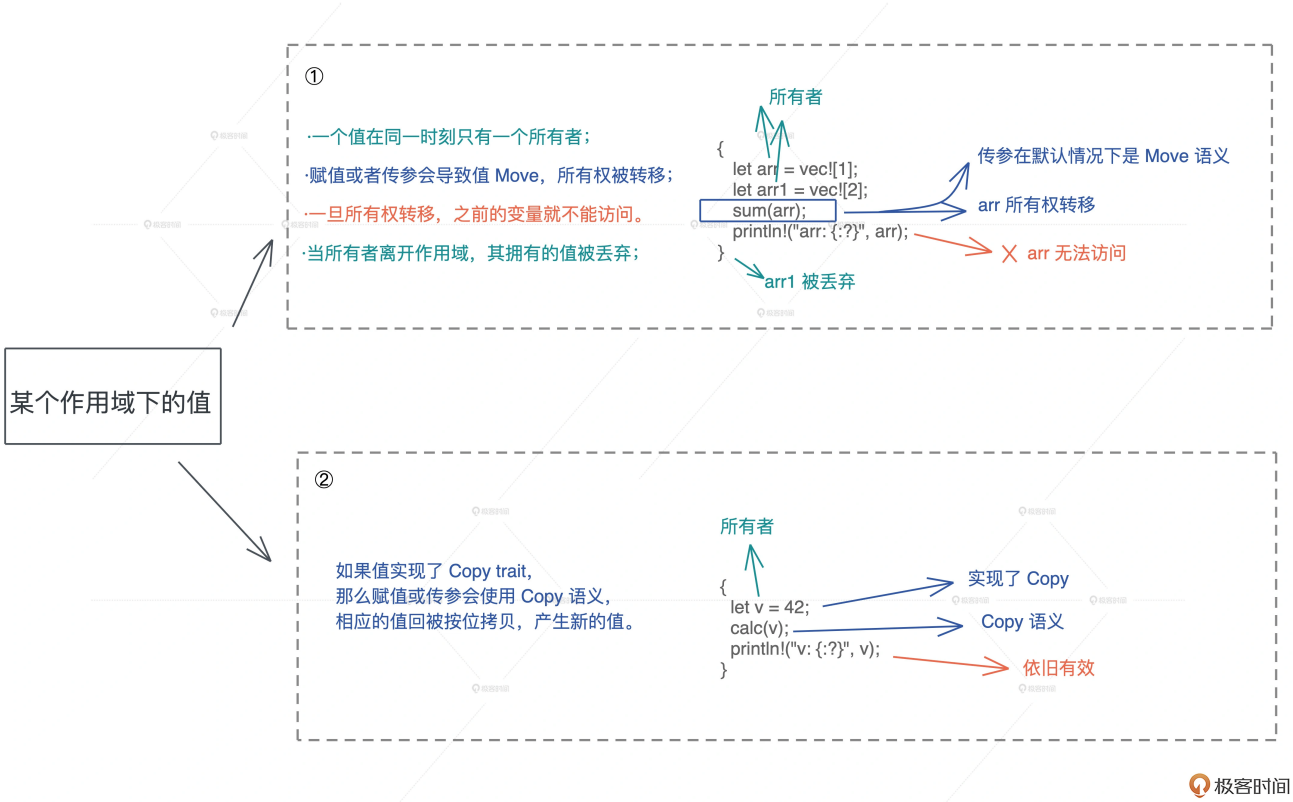
小结

今天我们学习了 Rust 的单一所有权模式、Move 语义、Copy 语义，我整理一下关键信息，方便你再回顾一遍。

所有权：一个值只能被一个变量所拥有，且同一时刻只能有一个所有者，当所有者离开作用域，其拥有的值被丢弃，内存得到释放。

Move 语义：赋值或者传参会导致值 Move，所有权被转移，一旦所有权转移，之前的变量就不能访问。

Copy 语义：如果值实现了 Copy trait，那么赋值或传参会使用 Copy 语义，相应的值会被按位拷贝（浅拷贝），产生新的值。



通过单一所有权模式，Rust 解决了堆内存过于灵活、不容易安全高效地释放的问题，不过所有权模型也引入了很多新的概念，比如今天讲的 Move / Copy 语义。

由于是全新的概念，我们学习起来有一定的难度，但是你只要抓住了核心点：**Rust 通过单一所有权来限制任意引用的行为**，就不难理解这些新概念背后的设计意义。

下一讲我们会继续学习 Rust 的所有权和生命周期，在不希望值的所有权被转移，又无法使用 Copy 语义的情况下，如何“借用”数据……

思考题

今天的思考题有两道，第一道题巩固学习收获。另外第二道题如果你还记得，在文中，我提出了一个小问题，让你暂时搁置，今天学完之后就有答案了，现在你有想法了吗？欢迎留言分享出来，我们一起讨论。

1. 在 Rust 下，分配在堆上的数据结构可以引用栈上的数据么？为什么？
2. main() 函数传递给 find_pos() 函数的另一个参数 v，也会被移动吧？为什么图上并没有将其标灰？

欢迎在留言区分享你的思考。今天是你 Rust 学习的第七次打卡，感谢你的收听，如果你觉得有收获，也欢迎你分享给身边的朋友，邀他一起讨论。

参考资料

trait 是 Rust 用于定义数据结构行为的接口。如果一个数据结构实现了 Copy trait，那么它在赋值、函数调用以及函数返回时会执行 Copy 语义，值会被按位拷贝一份（浅拷贝），而非移动。你可以看关于 Copy trait 的资料。

分享给需要的人，Ta订阅后你可得 20 元现金奖励

赞 8 提建议

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。 页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇 06 | get hands dirty：SQL查询工具怎么一鱼多吃？

精选留言 (14)

写留言

赵岩松
2021-09-06

第一题：可以
只要栈上的数据生命周期大于堆上数据的生命周期就可以
简单来说就是在堆上数据被回收之前栈上的数据一定会存在的情况下，是可以的
```
let x = 1;...
```
展开

作者回复: 理解地非常透彻！

的确如此，Rust 就是这样从最根本的问题出发来解决它。所有权是第一步，借用和生命周期是第二步。:)

2

pedro
2021-09-06

另外对按位复制补充一点：

按位复制，等同于 C 语言里的 memcpy。

C 语言中的 memcpy 会从源所指的内存地址的起始位置开始拷贝 n 个字节，直到目标...
展开

作者回复: 对。不过实现 Copy 并不会影响程序的正确性。不会出现拷贝可能会被释放的内存的指针的问题。

Rust 在设计时就已经保证了你无法为一个在堆上分配内存的结构实现 Copy。所以 Vec / String 等结构是不能实现 Copy 的。因为这条路已经被堵死了：Copy trait 和 Drop trait 不能共存。一旦你实现了 Copy trait，就无法实现 Drop trait。反之亦然。

有同学看到裸指针 *const T/ *mut T 实现了 Copy，就会想如果我用 unsafe 把 Vec<T> 的指针取出来，组成一个数据结构，到处 Copy，然后其中一个 drop 后，岂不就造成 use after free，破坏了 Rust 的安全性保证？很遗憾，Rust 并不允许你这么做。因为你无法实现 Drop。

我写了一段代码，感兴趣的同学可以看一下：

https://play.rust-lang.org/?version=stable&mode=debug&edition=2018&gist=4828e734f6f161dfce32098333a1aaa5

```rust
use std::{fmt, slice};

#[derive(Clone, Copy)]
struct RawBuffer {
    ptr: *mut u8,
    len: usize,
}

impl From<Vec<u8>> for RawBuffer {
    fn from(vec: Vec<u8>) -> Self {
        let slice = vec.into_boxed_slice();
        Self {
            len: slice.len(),
            // into_raw 之后，Box 就不管这块内存的释放了，RawBuffer 需要处理
            ptr: Box::into_raw(slice) as *mut u8,
        }
```

```
    }
}

// 如果 RawBuffer 实现了 Drop trait，就可以在所有者退出时释放堆内存
// 然后，Drop trait 会跟 Copy trait 冲突，要么不实现 Copy，要么不实现 Drop
// 如果不实现 Drop，那么就会导致内存泄漏，但它不会对正确性有任何破坏
// 比如不会出现 use after free 这样的问题。
// 你可以试着把下面注释掉，看看会出什么问题
// impl Drop for RawBuffer {
// #[inline]
// fn drop(&mut self) {
// let data = unsafe { Box::from_raw(slice::from_raw_parts_mut(self.ptr, self.len)) };
// drop(data)
// }
// }

impl fmt::Debug for RawBuffer {
    fn fmt(&self, f: &mut fmt::Formatter<'_>) -> fmt::Result {
        let data = self.as_ref();
        write!(f, "{:p}: {:?}", self.ptr, data)
    }
}

impl AsRef<[u8]> for RawBuffer {
    fn as_ref(&self) -> &[u8] {
        unsafe { slice::from_raw_parts(self.ptr, self.len) }
    }
}

fn main() {
    let data = vec![1, 2, 3, 4];

    let buf: RawBuffer = data.into();

    // 因为 buf 允许 Copy，所以这里 Copy 了一份
    use_buffer(buf);

    // buf 还能用
    println!("buf: {:?}", buf);
}
```

```
fn use_buffer(buf: RawBuffer) {
    println!("buf to die: {:?}", buf);

    // 这里不用特意 drop，写出来只是为了说明 Copy 出来的 buf 被 Drop 了
    drop(buf)
}
```

1 2

pedro
2021-09-06

1，在 Rust 下，分配在堆上的数据结构可以引用栈上的数据么？为什么？

可以，以 Vec 为例，它可以存储栈上的引用，但必须注意一点那就是该引用的生命周期不能超过栈上数据的生命周期。
...
展开

作者回复: 1 / 2 完全正确。

> 其它主流语言默认都是 copy

这里不完全正确。很多语言会根据类型决定是传值还是传引用。传值是 Copy，传引用不是 Copy，类似 Rust 的借用，但又不一样。我们后续会讲到。

2

springXu
2021-09-06

问题1.我认为不能。它违背了单一所有权的原则。
问题2.let v的类型是基本数据类型，它是实现了Copy trait的。 所以学完本节内容第二题是能回答的。
展开

作者回复: 1. 可以。它和生命周期有关，你可以看别人的回答。下堂课我们就会回答这个问题。
2. 对。

1

hughieyu
2021-09-06

感觉Rust就是把多重引用下的堆内存回收问题转变成了单一所有权下的值的使用问题

亚伦碎语
2021-09-06

1.可以，只要保证堆上数据的生命周期小于栈上。
2.因为 u32实现了Copy

老荀
2021-09-06

催更...第一次学习像追剧一样

展开

大远
2021-09-06

天哥，这么醍醐灌顶的课程，一周3讲根本不过瘾啊，可以额外付费点播吗？

编辑回复: 哈哈老师现在（一周两篇）写稿压力就挺大的，毕竟为了保证质量。所以暂时不支持付费点播啦，如果关于课程内容有啥想再深入了解的问题，欢迎在评论区交流发言~

老荀
2021-09-06

先赞后看，已成习惯

展开

编辑回复: 哈哈好习惯，持续打卡持续学习，加油:)

Henry
2021-09-06

1: 实验了下可以，并找不出 Rust 限制不让这么做的理由；
2: u32 时下了 Copy Trait，所以 copy 了一个新的值赋给了函数函数，所以 v 在后续依然

可以引用

作者回复: 对！

Kevin
2021-09-06

文中的v是基数类型数组类型，已经实现了Copy,所以不需要手动Copy

作者回复: 对！

gnu
2021-09-06

因为 v 是 u32 类型实现了 Copy trait，且分配在栈上，调用 find_pos 时 Copy 了一份 v'，所以图里不用值灰。

展开

作者回复: 正确！

阿海
2021-09-06

堆上的数据可以引用栈上的数据，但两者要有相同的生命周期；v是基本数据类型，实现了copy，find_pos里的v是另一个存储在栈上的数据

展开

作者回复: 正解！更准确地说栈上数据的生命周期大于等于堆上数据的生命周期即可

blackonion
2021-09-06

可以理解为是否实现copy trait主要看rust编译器能否在编译时就能确定所需大小吗？

作者回复: 并不是。Vec<T> 在编译时可以确定大小（24 字节），但它不能实现 Copy trait。任何有资源需要释放的数据结构，都无法实现 Copy trait。